

## АДСОРБЦІЯ КАТІОНІВ $Pb^{2+}$ З ПЛАЗМИ КРОВІ НАНОКОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВІ МАГНЕТИТУ

А.П. Кусяк<sup>1</sup>, А.Л. Петрановська<sup>2</sup>, П.П. Горбик<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Житомирський державний університет ім. Івана Франка,  
вул. В.Бердичівська 40, Житомир 10008, Україна a\_kusyak@ukr.net

<sup>2</sup>Інститут хімії поверхні ім. О. О. Чуйка Національної академії наук України,  
вул. Генерала Наумова 17, Київ 03164, Україна petranovska@ukr.net

*Досліджено здатність магнетиту та композитів складу  $Fe_3O_4/SiO_2$ ,  $Fe_3O_4/TiO_2$  і  $Fe_3O_4/Al_2O_3$  щодо вилучення катіонів  $Pb^{2+}$  з плазми крові людини. Вивчено вплив дисперсійного середовища та стабілізатора на адсорбцію катіонів  $Pb^{2+}$  і білкових речовин в плазмі крові. Встановлено вплив хімічного модифікування поверхні магнетиту на адсорбційні властивості синтезованих композитів. Зроблено висновок про перспективність синтезованих нанокompозитів для сорбційної очистки біологічних рідин.*

### Вступ

Сполуки важких металів залишаються одними з найнебезпечніших токсикантів, а проблема їх вилучення з організму не втрачає актуальності і потребує подальших досліджень. Сучасні літературні дані свідчать про перспективність застосування магнетиту та композитів на його основі як магніточутливих адсорбентів катіонів важких металів [1–6]. Такі композити, проявляючи високу адсорбційну ємність, можуть керуватись магнітним полем, а стадія відокремлення відпрацьованого адсорбенту може бути виконана методом магнітної сепарації [7–9].

Вважається, що іони  $Pb^{2+}$ , які надійшли до організму, через кров розподіляються між внутрішніми органами і тканинами в залежності від інтенсивності кровообігу в них та тропності до металу [10]. В організмі свинець циркулює в крові у вигляді високодисперсного колоїдного фосфату і альбумінату та перебуває у двох токсикологічно нерівноцінних фракціях – обмінній (в крові) та стабільній (в скелеті) [11].

Свинець – протоплазматична отрута широкого спектра дії – депонується переважно в кістках, у печінці та нирках, в кістковому депо може зберігатися багато років. Механізм токсичної дії його пов'язаний з блокуванням тілових ферментів, взаємодією з карбоксильними і фосфатними групами біополімерів, нуклеотидами. Свинець гальмує вихід кальцію з клітин, токсично діє на нирки, пригнічує активність імунної системи. Аналіз можливих механізмів транспорту іонів  $Pb^{2+}$  через мембрану до гепатоцитів свідчить, що вони проникають до цих клітин шляхом ендцитозу та дифузії. Час напіввиведення  $Pb$  з крові та з тканин внутрішніх органів становить 20 – 40 днів [11].

Науково обгрунтовані підходи до вторинної медико-біологічної профілактики інкорпорації свинцю в організмі та процесу детоксикації організму від свинцю повинні включати заходи, які спрямовані на ефективну нейтралізацію іонів цього металу у біологічних середовищах для попередження їхнього зв'язування з відповідними органічними лігандами та інтенсифікацію виведення з організму. Надзвичайно важливим є забезпечення, після зв'язування іонів  $Pb^{2+}$ , їхнього виведення з організму фізіологічними шляхами і недопущення переносу в інші органи [12].

Одержання нанокompозитних матеріалів біологічного призначення, дослідження їх функціонування в біологічних рідинах обумовлено зростаючою потребою в ефективних, сорбційних матеріалах для вилучення іонів важких металів, серед яких

іони  $Pb^{2+}$  залишаються одними з найбільш небезпечних, оскільки є високотоксичними навіть за низьких концентрацій.

Тому об'єктом досліджень цієї роботи стали наноккомпозити на основі магнетиту, їх сорбційна активність щодо білкових речовин та іонів  $Pb^{2+}$  в середовищі плазми крові.

### Експериментальна частина

У даній роботі досліджували адсорбційні властивості синтезованих магніточутливих композитів (МЧК) щодо іонів  $Pb^{2+}$  та білкових речовин з плазми крові людини.

*Синтез магнетиту  $Fe_3O_4$ .* Високодисперсний магнетит синтезували за реакцією Елмора [13]. Для створення магнітних носіїв використовували фракцію частинок магнетиту усередненого розміру  $\sim 15-30$  нм, які є переважно однодоменими. Питома поверхня дослідних зразків становила  $S = 105$  м<sup>2</sup>/г [13].

*Синтез наноккомпозитів  $Fe_3O_4/SiO_2$ .* Для модифікування поверхні магнетиту обрано тетраетоксисилан. Структура кінцевих продуктів полімеризації при його перетвореннях значною мірою залежить від умов проведення синтезу: температури, рН середовища, перемішування, наявності каталізаторів тощо.

Синтез наноккомпозиту здійснювали методом адсорбційного модифікування поверхні полімером [14]. Приєднання модифікатора відбувається в результаті утворення водневих зв'язків між силанольною групою модифікатора і гідроксильною групою поверхні магнетиту з подальшою молекулярною конденсацією з утворенням силоксанового покриття Si–O–Si за механізмом полімолекулярної конденсації.

*Синтез наноккомпозитів  $Fe_3O_4/TiO_2$ .* Методика синтезу наноккомпозитів  $Fe_3O_4/TiO_2$  ґрунтується на реакції гідролізу *n*-бутилортотитанату та наступній конденсації продуктів гідролізу з утворенням полімерної сітки Ti–O–Ti. Гідроліз проходить достатньо швидко. Ступінь полімеризації і будова полімерів в значній мірі залежить від співвідношення ортотитанату та води, яка потрібна для досягнення бажаного ступеня гідролізу, умов синтезу гідролізу, наявності каталізаторів тощо [15].

*Синтез наноккомпозитів  $Fe_3O_4/Al_2O_3$ .* Хімічне модифікування поверхні наночастинок магнетиту проводили рідиннофазовим способом – ізопропілатом алюмінію  $(C_3H_7O)_3Al$  в ізопропіловому спирті [16]. В результаті реакції поліконденсації поверхня магнетиту набуває амфотерного характеру за рахунок Al–O(H)-груп.

Модифікування поверхні синтезованих зразків підтверджено методом інфрачервоної спектроскопії з фур'є-накопиченням (спектрометр "Perkin Elmer", модель 1720X, діапазон 400 – 4000 см<sup>-1</sup>).

*Визначення загального білка.* Загальну концентрацію білкових речовин у плазмі крові людини (медичний препарат) визначали за допомогою 3% сульфосаліцилової кислоти на фотоелектроколориметрі КФК 3 при довжині хвилі 650 нм. При додаванні 3% сульфосаліцилової кислоти до розчину, що містить білкові речовини, відбувається згортання білка і утворюється каламуть, інтенсивність якої пропорційна кількості білків [17–19].

*Дослідження адсорбції катіонів  $Pb^{2+}$  на поверхні наноструктур з плазми крові.* Дослідження адсорбційних властивостей сорбентів щодо катіонів  $Pb^{2+}$  здійснювались у статичному режимі за кімнатної температури. Водний розчин  $Pb^{2+}$  готували з солі  $Pb(NO_3)_2$ . З даного розчину готували розчини плазми з концентраціями  $Pb^{2+}$  в межах 5–7 мг/л. Значення рН одержаних розчинів плазми знаходилось в межах 7,1–7,6, що відповідало значенням рН плазми. Наважки сорбентів (0,03 г) заливали розчином плазми з вмістом  $Pb^{2+}$  відповідної концентрації ( $V=5$  мл). Час контакту становив 20 хв.

Адсорбційну ємність ( $A$ ) на поверхні МЧК визначали вимірюванням концентрацій іона  $Pb^{2+}$  у розчинах до і після адсорбції із застосуванням атомно-абсорбційного

методу (спектрофотометр С-115 М1, полум'яна суміш ацетилен–повітря при довжині хвилі світла лампи  $\lambda = 283,3$  нм.).

Ємність адсорбенту  $A$  (мг/г) розраховували за формулою

$$A = (C_0 - C_p) \cdot V/g ,$$

де  $A$  – величина адсорбції, мг/г;  $C_0$  – концентрація вихідного розчину, мг/л;  $C_p$  – рівноважна концентрація розчину після адсорбції, мг/л;  $V$  – об'єм розчину, мл;  $g$  – наважка адсорбенту, г. Ступінь вилучення –  $R$ , % =  $[(C_0 - C_p) / C_0] \cdot 100$ .

Вимірювання концентрації  $Pb^{2+}$  проводились без попереднього осадження білків з метою запобігання втрат по іонах  $Pb^{2+}$ , що залишаються зв'язаними з білковими речовинами. Досліджувана концентрація іонів  $Pb^{2+}$  в плазмі крові становила 5–7 мг/л, що відповідає летальній концентрації (вміст  $Pb^{2+}$  в крові не повинен перевищувати 0,2 мг/л, при 0,7–0,8 мг/л з'являються симптоми тяжкого отруєння).

рН-Потенціометричні вимірювання проводили на приладі І-160М.

*Розчинники.* Як дисперсійне середовище для МЧК використовували фізіологічний розчин (0,9% NaCl), 5% розчин диметилформаміду (ДМФА) виготовлений на фізіологічному розчині (МЧК+ДМФА), 5% розчин диметилсульфоксиду (ДМСО) у фізіологічному розчині (МЧК+ ДМСО), та як стабілізатор – 15% розчин поліетиленгліколя ПЕГ 2000, який вводили до розчинів ДМФА та ДМСО (МЧК+ДМФА+ПЕГ) та (МЧК+ ДМСО+ПЕГ).

## Результати та обговорення

Використання композитів для очистки біологічних рідин від важких металів досліджували на прикладі плазми крові людини, в яку вводили іони  $Pb^{2+}$ .

Плазму крові людини отримують, відокремлюючи від крові за допомогою центрифугування суспендовані клітинні елементи. Вона являє собою прозору в'язку світло-жовту рідину. На частку розчинних речовин плазми припадає близько 10% (маса/об'єм), з них ~7% білки, ~0,9% неорганічні солі; іншу частину складають різні небілкові органічні сполуки.

Білки плазми крові характеризуються різними специфічними функціями і властивостями, їх поділяють на три основні групи [20, 21]: альбумін, глобуліни та фібриноген.

*Альбумін* складає більше половини всіх білків плазми, синтезується в печінці. Він обумовлює колоїдно-осмотичний тиск крові, виконує роль транспортних білків для багатьох речовин, включаючи гормони, жирні кислоти, а також токсини і ліки.

*Глобуліни* – неоднорідна група білків, у якій виділяють  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -фракції. До останнього відносяться імуноглобуліни, чи антитіла – елементи імунної системи.

*Фібриноген* – розчинна форма фібрину – фібрилярного білка плазми крові, який утворює волокна при підвищенні згортання крові (наприклад, при утворенні тромбу). Синтезується фібриноген у печінці. Згортання крові захищає організм від крововтрати в разі випадкового пошкодження судин [22].

Для модифікування поверхні наночастинок магнетиту використовували покриття, відомі своєю біосумісністю, зокрема, тетраетоксисилан, *n*-бутилортотитанат та ізопропілат алюмінію. Для дослідження адсорбційних характеристик поверхні нанокompозитів синтезовано наступні зразки:  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_3O_4/SiO_2$ ,  $Fe_3O_4/TiO_2$ ,  $Fe_3O_4/Al_2O_3$ .

Наявність модифікованого шару на поверхні магнетиту підтверджували тестуванням зразків методом ІЧ-спектроскопії, поверхня модифікованих зразків є аморфною.

При розгляданні можливості використання синтезованих композитів як сорбентів для екстракорпоральної очистки плазми крові та препаратів крові від іонів  $Pb^{2+}$ , та враховуючи здатність білків зв'язувати катіони  $Pb^{2+}$ , виникла необхідність дослідження адсорбції білкових речовин поверхнею синтезованих композитів.

Дослідження адсорбції білкових речовин плазми крові поверхнею МЧК є важливою складовою з'ясування загальної картини взаємодії нанорозмірної поверхні з компонентами біологічних рідин. Вміст білкових речовин визначали в медичному препараті плазмі крові людини. З метою запобігання агрегації частинок композитів в середовищі плазми крові людини в результаті адсорбції білків, були використані розчинники та стабілізатор. Вибір ДМФА та ДМСО як розчинників обумовлений використанням даних речовин в органічному та неорганічному синтезі, їх здатності змінювати проникність мембран клітин, стабілізувати білки та уповільнювати процес згортання крові. Стабілізатор ПЕГ утворює на поверхні МЧК оболонку, яка запобігає агломерації частинок та адсорбції білкових речовин крові [23].

Вплив дисперсійного середовища на ступінь вилучення білкових речовин композитами з різною поверхнею видно з табл. 1.

**Таблиця 1.** Сорбційна активність поверхонь синтезованих МЧК щодо білкових речовин

| Дисперсійне середовище | $Fe_3O_4$ |      | $Fe_3O_4/SiO_2$ |      | $Fe_3O_4/TiO_2$ |      | $Fe_3O_4/Al_2O_3$ |      |
|------------------------|-----------|------|-----------------|------|-----------------|------|-------------------|------|
|                        | A, мг/г   | R, % | A, мг/г         | R, % | A, мг/г         | R, % | A, мг/г           | R, % |
| МЧК + ФР               | 5,12      | 8,7  | 15,3            | 26,1 | 14,0            | 23,9 | 12,8              | 21,7 |
| МЧК+ ДМФА + ПЕГ        | 15,4      | 26,1 | 16,6            | 28,2 | 16,0            | 28,2 | 14,1              | 23,9 |
| МЧК+ ДМСО              | 1,28      | 2,8  | 0,0             | 0,0  | 5,1             | 11,1 | 0,0               | 0,0  |
| МЧК+ ДМСО + ПЕГ        | 0,0       | 0,0  | 0,0             | 0,0  | 10,0            | 23,5 | 0,0               | 0,0  |

Для поверхні  $Fe_3O_4$ , при використанні фізіологічного розчину як розчинника ступінь вилучення білкових речовин становить 8,7%. Використання ДМФА та стабілізація ПЕГ призводить до збільшення R до 26,13%.

При використанні ДМСО та стабілізуючої суміші ДМСО+ПЕГ, навпаки, відбувається суттєве зменшення зв'язування поверхонь МЧК з білковим компонентом плазми для  $Fe_3O_4$  та  $Fe_3O_4/SiO_2$ . Така тенденція спостерігається для ДМСО та стабілізуючої суміші з ПЕГ для всіх поверхонь МЧК. Дещо нижчі показники ступеня вилучення білкових речовин з плазми крові спостерігаються для поверхні  $Fe_3O_4/TiO_2$ : зниження R до 11,11% для ДМСО та 23,9 – 28,2% для інших систем. Використання фізіологічного розчину та стабілізуючої суміші характеризується незначними змінами адсорбції білкових речовин на  $Fe_3O_4/Al_2O_3$ . В середовищі фізіологічного розчину найменша сорбційна активність до білкових речовин спостерігається для  $Fe_3O_4/Al_2O_3$ . Використання стабілізуючої суміші ДМСО+ПЕГ та ДМСО як розчинника для МЧК складу  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_3O_4/SiO_2$ ,  $Fe_3O_4/Al_2O_3$  зменшує показник R білкових речовин плазми крові. Поверхня  $Fe_3O_4/TiO_2$  характеризується найвищими показниками R білкових речовин.

Для дослідження вилучення іонів  $Pb^{2+}$  з плазми крові готували суспензію композитів у різних дисперсійних середовищах: у фізіологічному розчині, та 5%-х ДМСО та ДМФА, розчинених у фізіологічному розчині. Адсорбцію проводили з плазми крові людини, в яку вводили іони  $Pb^{2+}$ .

Залежність адсорбції іонів  $Pb^{2+}$  від типу поверхні МЧК при використанні різних дисперсійних середовищ та стабілізаторів наведено у табл. 2.

**Таблиця 2.** Ступінь вилучення ( $R$ , %) іонів  $Pb^{2+}$  поверхнями МЧК з плазми крові людини

| Дисперсійне середовище | $Fe_3O_4$ | $Fe_3O_4/SiO_2$ | $Fe_3O_4/TiO_2$ | $Fe_3O_4/Al_2O_3$ |
|------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-------------------|
| МЧК + ФР               | 99,8      | 94,1            | 52,9            | 95,0              |
| МЧК+ДМФА               | 89,9      | 95,8            | 98,7            | 92,6              |
| МЧК+<br>ДМФА +ПЕГ      | 88,7      | 99,8            | 97,2            | 71,4              |
| МЧК+ДМСО               | 81,8      | 94,32           | 84,4            | 63,8              |
| МЧК+<br>ДМСО + ПЕГ     | 97,4      | 93,3            | 77,1            | 60,6              |

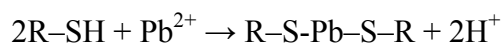
Аналізуючи результати вимірювання ступеня вилучення іонів  $Pb^{2+}$  поверхнями МЧК складу  $Fe_3O_4$ ,  $Fe_3O_4/SiO_2$ ,  $Fe_3O_4/TiO_2$  та  $Fe_3O_4/Al_2O_3$  з плазми крові можна відмітити, що для поверхні  $Fe_3O_4$  оптимальними умовами адсорбції є використання фізіологічного розчину –  $R = 99,8\%$ .

Для композиту складу  $Fe_3O_4/SiO_2$  високі показники  $R$  (в межах 93,3 – 99,8%) спостерігаються незалежно від складу розчинника та наявності стабілізатора. Для  $Fe_3O_4/TiO_2$  використання фізіологічного розчину, розчину ДМСО та стабілізуючої суміші ДМСО + ПЕГ значно погіршує адсорбцію  $Pb^{2+}$  з плазми крові. Адсорбційне вилучення з показником  $R$  97,2 – 98,7% спостерігається лише при використанні ДМФА та стабілізуючої суміші ДМФА+ПЕГ.

Використання фізіологічного розчину та ДМФА не перешкоджає адсорбції  $Pb^{2+}$  на поверхні  $Fe_3O_4/Al_2O_3$  ( $R = 92,6-95,0\%$ ). Утворення оболонки з ПЕГ на поверхні МЧК перешкоджає адсорбції білкових речовин (мінімальні показники  $R$ ), але й перешкоджає адсорбції зв'язаних з білковими речовинами іонів  $Pb^{2+}$  ( $R = 60,6 - 71,4\%$ ), або утворені комплекси з білковими речовинами значно стійкіші за комплекси з поверхнею  $Fe_3O_4/Al_2O_3$ .

Найкращі показники вилучення іонів  $Pb^{2+}$  з плазми крові, незалежно від розчинника та стабілізуючої суміші, належать  $Fe_3O_4/SiO_2$  ( $R = 93,3 - 99,8\%$ ) та  $Fe_3O_4$  ( $R = 80-99\%$ ). Вилучення іонів  $Pb^{2+}$  поверхнями  $Fe_3O_4/TiO_2$  та  $Fe_3O_4/Al_2O_3$  залежить від типу розчинника та наявності стабілізатора ПЕГ.

В крові свинець циркулює у вигляді високодисперсного колоїду фосфатів та альбумінатів свинцю, які утворюються в результаті його взаємодії з неорганічними фосфатами та сульфуровмісними білками плазми та еритроцитів крові (гемоглобін зв'язує до 99% свинцю) [11]. Взаємодіючи з білковими речовинами іони  $Pb^{2+}$ , проявляють себе як тілова отрута, зв'язуючись з тіольними групами за схемою



При вилученні іонів свинцю з біологічних рідин, а саме з плазми крові, важливим є збереження її білкового складу для подальшого використання.

Тому, враховуючи здатність білків комплексно зв'язувати катіони свинцю, одночасно з іонами  $Pb^{2+}$  досліджували ступінь вилучення білкових речовин (табл. 3).

Збільшення ступеня вилучення білкових речовин у присутності іонів  $Pb^{2+}$  є підтвердженням утворення стійких комплексів даних іонів з білковими речовинами плазми крові та активними центрами на поверхні МЧК. Це дає можливість прогнозувати вилучення іонів без змін білкового складу крові, що є надзвичайно важливим для підтримання гомеостазу.

**Таблиця 3.** Ступінь вилучення ( $R$ , %) білкових речовин плазми крові при адсорбції іонів  $Pb^{2+}$  на поверхнях МЧК

| Дисперсійне середовище | $Fe_3O_4$ | $Fe_3O_4/SiO_2$ | $Fe_3O_4/TiO_2$ | $Fe_3O_4/Al_2O_3$ |
|------------------------|-----------|-----------------|-----------------|-------------------|
| МЧК+ ФР                | 19,5      | 17,3            | 17,3            | 26,1              |
| МЧК+ ДМФА +ПЕГ         | 23,9      | 17,3            | 26,1            | 28,2              |
| МЧК+ДМСО               | 2,7       | 0,0             | 11,11           | 0,0               |
| МЧК+ ДМСО + ПЕГ        | 0,0       | 0,0             | 23,53           | 0,0               |

Для поверхні  $Fe_3O_4$  при використанні фізіологічного розчину показник  $R$  загального білка після адсорбції іонів  $Pb^{2+}$  становить 19,5%, що значно вище попереднього результату ( $R = 8,7\%$ , табл.1) вилучення білків до адсорбції свинцю. Поясненням такої зміни є адсорбція хелатних комплексів білкових речовин з іонами  $Pb^{2+}$ , що утворюються в середовищі плазми крові. При використанні стабілізуючої суміші ДМСО + ПЕГ адсорбція білкових речовин поверхнею  $Fe_3O_4$  не відбувається, при використанні ДМСО – спостерігається адсорбція білкових речовин з показником  $R = 2,7\%$ .

При адсорбції іонів  $Pb^{2+}$  з плазми крові на поверхні  $Fe_3O_4/SiO_2$  при використанні фізіологічного розчину та стабілізуючої суміші ДМФА+ПЕГ спостерігається адсорбція білкових речовин плазми крові в межах 17,3%. Застосування ДМСО та суміші ДМСО+ПЕГ перешкоджає адсорбції білкових речовин на поверхні даного типу МЧК. Така тенденція характерна і для поверхні  $Fe_3O_4/Al_2O_3$ . Для поверхні  $Fe_3O_4/TiO_2$  характерні стійкі показники  $R$  білкових речовин незалежно від розчинників та стабілізатора в межах 11,1 – 26,09%.

Найнижчі показники  $R$  білкових речовин на поверхні МЧК спостерігаються при використанні ДМСО як розчинника та стабілізуючої суміші ДМСО + ПЕГ, що повністю збігається з попередніми результатами досліджень індивідуальної адсорбції білкових речовин з плазми крові.

## Висновки

Синтезовано магніточутливі нанокompозити  $Fe_3O_4/SiO_2$ ,  $Fe_3O_4/TiO_2$  і  $Fe_3O_4/Al_2O_3$  на основі одномоментного магнетиту. Вивчено вплив поверхні композитів на адсорбцію іонів  $Pb^{2+}$  з плазми крові людини.

Найкращі показники вилучення іонів  $Pb^{2+}$  з плазми крові, незалежно від розчинника та стабілізуючої суміші, мають  $Fe_3O_4$  ( $R = 80-99\%$ ) та  $Fe_3O_4/SiO_2$  ( $R = 93,3 - 99,8\%$ ) без змін білкового складу крові.

Вилучення іонів  $Pb^{2+}$  поверхнями нанокompозитів  $Fe_3O_4/TiO_2$  та  $Fe_3O_4/Al_2O_3$  залежить від типу розчинника та наявності стабілізатора ПЕГ.

Результати досліджень адсорбційної активності поверхонь магнетиту та біосумісних композитів свідчать про їх перспективність щодо вилучення іонів  $Pb^{2+}$  з плазми крові людини. Магнітні властивості композитів дозволяють застосовувати принципи магнітної сепарації, які спрощують технологію розділення та видалення речовин з біологічних рідин.

## Література

1. Luciano Carlos, Fernando S. García Einschlag, Mónica C. González, Daniel O. Applications of Magnetite Nanoparticles for Heavy Metal Removal from Wastewater. Waste Water - Treatment Technologies and Recent Analytical Developments. 2013. <http://dx.doi.org/10.5772/54608>

2. Petrova T. M., Fachikov L., Hristov. Y. The Magnetite as Adsorbent for Some Hazardous Species from Aqueous Solutions: International Review of Chemical Engineering (I.R.E.C.H.E.), -V. 3, -N. 2. March 2011.
3. Emadi M., Shams E., Amini M. Removal of Zinc from Aqueous Solutions by Magnetite Silica Core-Shell Nanoparticles. Journal of Chemistry, – V. 2013 (2013), Article ID 787682, 10 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/787682>
4. Wen-Juan Li, Xian-Zhi Yao, Zheng Guo, Jin-Huai Liu, Xing-Jiu Huang. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> with novel nanoplate-stacked structure: Surfactant-free hydrothermal synthesis and application in detection of heavy metal ions, Journal of Electroanalytical Chemistry, – V. 749, 15 July 2015, – P. 75-82, ISSN 1572-6657, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jelechem.2015.04.038>.
5. Hoang Vinh Tran, Lam Dai Tran, Thinh Ngoc Nguyen, Preparation of chitosan/magnetite composite beads and their application for removal of Pb(II) and Ni(II) from aqueous solution, Materials Science and Engineering: C, – V. 30, Issue 2,30 January 2010, – P. 304-310, ISSN 0928-4931, <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2009.11.008>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493109002999>)
6. Hassan Karami, Heavy metal removal from water by magnetite nanorods. Chemical Engineering Journal 219 (2013) 209–216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2013.01.022>.
7. Наноматеріали і нанокompозити в медицині, біології, екології. Под ред. А.П. Шпака, В.Ф. Чехуна. Составители Горбик П.П., Туров В.В. – К.: Наукова думка, 2011. – С. 443.
8. Advances in Semiconductor Research: Physics of Nanosystems, Spintronics and Technological Applications. Nova Science Publishers, New York. – 2014. – 307 p. Chapter 9. Magnetosensitive Nanocomposites with Functions of Medico-Biological Nanorobots: Synthesis and Properties. – P. 161-198. (P.P. Gorbyk, L.B. Lerman, A.L. Petranovska and S.P. Turanska, O.O. Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine).
9. Туранская С.П., Каминский А.Н., Кусяк Н.В., Туров В.В., Горбик П.П. Синтез, свойства и применение магнитоуправляемых адсорбентов// Поверхность. Сб.науч. тр. – 2012. – Вып. 4(19), – С. 266-292.
10. В. Л. Стародумов Дефіцит нутриєнтів як можливе умовне розвитку інтоксикації, викликаній впливом малих доз свинцю // Гігієна і санітарія. - 2003. – № 3, – С. 60-62.
11. Стежка В.А. Науково обґрунтовані принципи і підходи до вторинної медико-біологічної профілактики екологічно обумовленої та професійної патології, пов'язаної з впливом на людину сполук свинцю // Современные проблемы токсикологии.– 2005.– № 4.– С. 63–69.
12. T.J. Meredith, J.A.Haines, J.C. Berget IPCS/CEC evaluation of clinical efficacy of chelating agents used in the treatment of poisoning //3-rd Int. Symp."Chelat. Agents Pharmacol. Toxicol. and Ther." Plzen. Lek. Sb. —1990. —Suppl. 62. —P. 13—15.
13. Свідоцтво про реєстрацію авторського права № 46056 «Тимчасовий технологічний регламент на виробництво речовини «Магнетит У» ТТР 03291669.012:2012», Горбик П.П., Абрамов М.В., Петрановська А.Л., Турелик М.П., Васильєва О.А., зареєстровано в державній службі інтелектуальної власності України 17.10.2012.
14. Семко Л.С., Горбик П.П., Сторожук Л.П., Дзюбенко Л.С., Дубровін І.В., Оранська О.І. Модифікування магнетиту діоксидом кремнію // Фізика і хімія твердого тіла. – 2007. – Т.8, № 3. – С.526 – 532.
15. Семко Л.С., Горбик П.П., Чуйко О.О., Сторожук Л.П., та інші. Модифікування магнетиту діоксидом титану та властивості одержаних нанокompозитів // Доповіді НАН України. – 2007. - №2. – С. 150-157.
16. Петрановская А.Л., Усов Д.Г., Абрамов М.В., Демченко Ю.О., Кордубан О.М.. Модифицирование поверхности нанокристаллического магнетита изопропилатом алюминия. Химия, физика и технология поверхности: Межвед. Сб. Науч. Тр. / Ин-т

- химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины;.- К.:Наукова думка, 2007.- Вып. 13. – С. 310-321.
17. Плотнікова К.С. Практикум з клінічних лабораторних досліджень. – К.: Здоров'я. – 2002. – С. 237.
  18. Любина А.Я. Клинические лабораторные. – М.: Медицина. – 1984.- С. 320.
  19. Манастирська О.С. Клінічні лабораторні дослідження. Вінниця Н. Кн. – 2007. – С.165.
  20. Мотузний В. О. Біологія. — К.: Вища шк. – 2002. – 622 с.
  21. Медична енциклопедія. В 4-х тт. – М. – 1996.
  22. Федонюк Я.І., Білик Л.С., Микула Н.Х. Анатомія та фізіологія з патологією. – Тернопіль: Укрмедкнига. – 2001. – 680 с.
  23. Шпак А.П., Чехун В.Ф., Горбик П.П., Туров В.В. Наноматеріали і композити в медицині, біології, екології.– К.: Наукова думка, 2011. – 444 с.

## АДСОРБЦІЯ КАТИОНОВ $Pb^{2+}$ В ПЛАЗМЕ КРОВИ НАНОКОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВЕ МАГНЕТИТА

А.П. Кусяк<sup>1</sup>, А.Л. Петрановская<sup>2</sup>, П.П. Горбик<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Житомирський державний університет ім. Івана Франка,  
ул. В.Бердичевская 40, Житомир 10008, Україна, a\_kusyak@ukr.net

<sup>2</sup>Інститут хімії поверхності ім. А.А. Чуйко Національної академії наук України,  
ул. Генерала Наумова 17, Київ 03164, Україна, pgorbyk@mail.ru

*Исследована адсорбционная способность магнетита и композитов состава  $Fe_3O_4/SiO_2$ ,  $Fe_3O_4/TiO_2$  и  $Fe_3O_4/Al_2O_3$  относительно катионов  $Pb^{2+}$  в плазме крови человека. Изучено влияние растворителя и стабилизатора на адсорбцию катионов свинца и белковых соединений в среде плазмы крови. Показано влияние химического модифицирования поверхности магнетита на адсорбционные свойства синтезированных композитов. Сделан вывод о перспективности синтезированных нанокompозитов как сорбентов медико-биологического, технического и экологического назначения.*

## ADSORPTION OF $Pb^{2+}$ CATIONS IN HUMAN BLOOD SERUM BY NANOCOMPOSITES BASED ON THE MAGNETITE

A.P. Kusyak<sup>1</sup>, A.L. Petranovska<sup>2</sup>, P.P. Gorbyk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zhytomyr State University named after Ivan Franko,  
V. Berdichevska str. 40, 10008, Zhytomyr, Ukraine, a\_kusyak@ukr.net

<sup>2</sup>Chuiiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine  
17 General Naumov Str., Kyiv, 03164, Ukraine, petranovska@ukr.net

*The adsorption capacity of magnetite and  $Fe_3O_4/SiO_2$ ,  $Fe_3O_4/TiO_2$  u  $Fe_3O_4/Al_2O_3$  composites towards  $Pb^{2+}$  cations in human serum was investigated. The effect of the solvent and the stabilizer on the adsorption of lead cations and protein compounds in blood serum medium was studied. The effect of chemical modification of the magnetite surface on adsorption properties of the synthesized composites was showed. The conclusion about prospects of synthesized nanocomposites as a medical-biological sorbents, its technical and environmental purposes was made.*